



Universidade Federal
do Rio de Janeiro

**CCMN - INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
SETOR DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL**

**Estudo hidrogeoquímico e análise da vulnerabilidade
à contaminação dos aquíferos costeiros entre os
municípios de Niterói e Rio das Ostras-RJ**

Alexandre Cruz

Orientador: Gerson Cardoso da Silva Jr.

Janeiro/2004

FICHA CATALOGRÁFICA

Cruz, Alexandre

Estudo hidrogeoquímico e análise da vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos costeiros entre os municípios de Niterói e Rio das Ostras-RJ / Alexandre Cruz. Rio de Janeiro: UFRJ / CCMN / Inst. De Geociências, 2004, 50p.

Estágio de Campo IV – Universidade Federal do Rio de Janeiro, CCMN, Instituto de Geociências, 2004.

1. Hidrogeologia
2. Hidrogeoquímica
3. Vulnerabilidade de Aquíferos

Índice

Pág.

Índice de Tabelas	4
Índice de Figuras	5
Resumo	6
1. Introdução	7
2. Objetivos	9
3. Revisão bibliográfica – Estado da Arte	9
3.1. Vulnerabilidade.....	10
3.2. Aquíferos costeiros (Intrusão marinha).	12
3.2.1. O Conceito da Interface Água Doce - Água Salgada e o Problema da Intrusão Marinha	12
4. Metodologia	14
4.1. Levantamento de dados hidrogeológicos	14
4.1.1. Trabalhos em Campo	14
4.1.2. Trabalhos em Gabinete	15
4.2. Análise da Vulnerabilidade dos aquíferos	15
5. Caracterização Regional da Área estudada	16
5.1. Geologia	16
5.2. Hidrogeologia	18
6. Resultados	19
6.1. Levantamento de dados hidrogeológicos	19
6.2. Análises químicas e isotópicas.....	20
6.2.1. Piratininga (Niterói) e Itaipuaçu (Maricá)	20
6.2.2. Araruama e Iguaba Grande	25
6.2.3. Saquarema, Cabo Frio, Búzios, Arraial do Cabo e Rio das Ostras.....	29
6.3. Monitoramento da Cunha Salina nos Aquíferos Costeiros de Piratininga (Niterói):	35
6.4. Análise Bacteriológica	39
6.5. Monitoramento da oscilação do nível d'água na área piloto de Piratininga (Niterói):	39
6.6. Análise da vulnerabilidade dos aquíferos:	41
7. Conclusões	47
8. Bibliografia:	49

Índice de Tabelas

	Pág.
Tabela 1 : Valores médios de profundidade dos poços, do nível estático, dos parâmetros físico-químicos e dos teores de cloretos.	24
Tabela 2 : Resultado das Análises Bacteriológicas.....	39
Tabela 3 : Pesos atribuídos aos parâmetros DRASTIC.	42
Tabela 4 : Notas atribuídas às classes do parâmetro profundidade do nível d'água.....	42
Tabela 5 : Notas atribuídas às classes do parâmetro área de recarga.....	43
Tabela 6 : Notas atribuídas às classes do parâmetro litologia do aquífero.	43
Tabela 7 : Notas atribuídas às classes do parâmetro tipo de solo.	43
Tabela 8 : Notas atribuídas às classes do parâmetro topografia.	44
Tabela 9 : Notas atribuídas às classes do parâmetro litologia da zona vadosa.	44
Tabela 10 : Notas atribuídas às classes do parâmetro condutividade hidráulica.	44
Tabela 11 : Índices do potencial de contaminação do modelo DRASTIC.	45

Índice de Figuras

Figura 1: Mapa de localização da área de estudos.....	8
Figura 2: Mapa potenciométrico da restinga de Piratininga (Niterói) com direções de fluxo (Lowsby, 2000; Lowsby e Alves, 2000).	11
Figura 3: Ilustração do princípio de Ghyben-Herzberg (modificado de Custodio, 1987 <i>in</i> Lowsby, 2000).	13
Figura 4: Mapa de linhas de isocondutividade elétrica na área-piloto de Piratininga (Niterói).....	21
Figura 5: Diagrama de Piper para as águas subterrâneas de Piratininga (Niterói).	22
Figura 6: Diagrama de Piper para as águas subterrâneas de Itaipuaçu (Maricá).	23
Figura 7: Relação entre os íons cloreto e sódio em águas subterrâneas de Piratininga (Niterói).....	23
Figura 8: Diagrama de Schoeller das águas subterrâneas de Piratininga (Niterói).....	24
Figura 9: Diagrama de Schoeller das águas subterrâneas de Itaipuaçu (Maricá).	25
Figura 10: Diagrama de Piper em Araruama.	26
Figura 11: Diagrama de dispersão da razão Cl^-/Na^+ em Iguaba Grande.	27
Figura 12: Diagrama de dispersão da razão Mg/Ca em Iguaba Grande.	27
Figura 13: Diagrama de dispersão da razão $\text{HCO}_3^-/\text{Cl}^-$ em Iguaba Grande.	28
Figura 14: Diagrama de Schoeller das águas subterrâneas em Iguaba Grande.	29
Figura 15: Diagrama de Dispersão da razão Cl^-/Na^+ em Saquarema.	30
Figura 16: Diagrama de Schoeller das águas subterrâneas em Saquarema.	31
Figura 17: Diagrama de Dispersão da razão Cl^-/Na^+ em Cabo Frio.	31
Figura 18: Diagrama de Schoeller das águas subterrâneas em Cabo Frio.	32
Figura 19: Diagrama de Dispersão da razão Cl^-/Na^+ em Búzios.	32
Figura 20: Diagrama de Schoeller das águas subterrâneas em Búzios.	33
Figura 21: Diagrama de Dispersão da razão Cl^-/Na^+ em Arraial do Cabo.	33
Figura 22: Diagrama de Schoeller das águas subterrâneas em Arraial do Cabo.	34
Figura 23: Diagrama de Dispersão da razão Cl^-/Na^+ em Rio das Ostras.	34
Figura 24: Diagrama de Schoeller das águas subterrâneas em Rio das Ostras.	35
Figura 25: Mapa de distribuição de cloreto no ano de 1999 (Piratininga).	36
Figura 26: Mapa de distribuição de cloreto no ano de 2000 (Piratininga).	36
Figura 27: Mapa de distribuição de cloreto no ano de 2002 (Piratininga).	37
Figura 28: Mapa de Condutividade Elétrica no ano de 1999 (Piratininga).	37
Figura 29: Mapa de Condutividade Elétrica no ano de 2000 (Piratininga).	38
Figura 30: Mapa de Condutividade Elétrica no ano de 2002 (Piratininga).	38
Figura 31: Gráfico da oscilação do nível d'água e da pluviometria.	40
Figura 32: Mapa de vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos.	46

Resumo

O presente trabalho consiste na monografia de conclusão do curso de graduação em geologia da UFRJ pelo autor, referente à disciplina de Estágio de Campo IV, com concentração na área de Hidrogeologia.

O objetivo desta monografia consiste na elaboração de um relatório parcial dos resultados gerados no âmbito do projeto ACOST-RIO (“Estudo de aquíferos costeiros no leste do Estado do Rio de Janeiro”), financiado pelo PADCTIII/FINEP – GTM, ora em fase de finalização. Boa parte do material apresentado foi gerada durante a pesquisa de campo e o restante foi compilado e sistematizado pelo autor para composição do relatório final do referido projeto. Os resultados mostram uma área muito vulnerável à contaminação da água subterrânea, em particular pela salinização marinha, por impermeabilização do solo e superexploração e aquíferos pobres e de grande fragilidade, que requerem intervenções agressivas do poder público para a sua sustentabilidade.

1. Introdução

O Projeto ACOST-RIO tem como meta desenvolver uma metodologia integrada para realização de estudos hidrogeológicos em aquíferos costeiros a leste da cidade do Rio de Janeiro (figura 1), bem como a obtenção de dados sobre o potencial hídrico e a qualidade química e bacteriológica dos referidos aquíferos. O projeto é coordenado pelo Prof. Gerson Cardoso da Silva Júnior, tendo como instituição executora a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e a co-participação da Universidade Federal Fluminense (UFF), Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro (DRM-RJ) e Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM).

A área de abrangência do projeto vem sofrendo um grande crescimento populacional nos últimos anos, que resulta em um aumento da demanda de água potável subterrânea e, por conseguinte, em maior pressão sobre os aquíferos costeiros. A expansão da rede de distribuição de água na região, realizada pelas empresas vencedoras do processo de privatização do tratamento e distribuição de água, ocorrido nos últimos anos em vários municípios da área de estudo (Pró-Lagos, Águas de Juturnaíba, Águas de Niterói) não resultou ainda em uma melhoria significativa dessa situação. Estes aquíferos são, portanto, alvo de intensa exploração, principalmente durante o verão, quando ocorre um aumento das populações devido ao fluxo de veranistas. Ao mesmo tempo, recebem uma elevada carga de efluentes domésticos, já que estas regiões são quase inteiramente desprovidas de sistemas de tratamento de esgotos.

tese de doutorado da Geóloga Maria da Glória Alves, concluída no ano 2000 (Alves, 2000).

2. Objetivos

Objetivou-se nesta monografia apresentar os resultados da análise hidrogeoquímica para caracterização da intrusão marinha, observando através do íon cloreto, as suas dimensões desde o ano de 1999, na área piloto de Piratininga (Niterói). Também foram realizadas análises químicas dos componentes maiores dissolvidos na água subterrânea (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , CO_3^{2-}). As medições da profundidade do nível d'água nos poços e trabalhos de topografia tiveram como objetivo, respectivamente, a caracterização das águas e a produção de mapa potenciométrico com determinação das direções de fluxo subterrâneo (figura 2) e do monitoramento da oscilação do nível d'água em poços em função de dados pluviométricos em áreas piloto, que teve como objetivo verificar a resposta do aquífero a fatores sazonais. Além da análise da vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos costeiros entre os municípios de Niterói e Rio das Ostras através de técnicas de geoprocessamento (Sistema de Informação Geográfica - SIG). O SIG foi utilizado para aquisição, composição e elaboração do relacionamento dos diversos planos de informações do método DRASTIC, um método para avaliação de vulnerabilidade de aquíferos, desenvolvido pela agência de proteção ambiental dos Estados Unidos (USEPA).

3. Revisão bibliográfica – Estado da Arte

Para melhor entender o problema da intrusão marinha, bem como justificar as teorias e técnicas utilizadas direta ou indiretamente no estudo da área e suas

interfaces com a hidrogeoquímica, resolveu-se abordar os principais assuntos relacionados ao tema.

3.1. Vulnerabilidade.

O termo vulnerabilidade à contaminação de aquíferos refere-se à sensibilidade de um aquífero a uma carga contaminante em função de suas características intrínsecas (Pizani, 2003).

A escolha de um método para análise da vulnerabilidade é uma função da disponibilidade de dados e das características da região. Cabe ao pesquisador avaliar se os parâmetros considerados relevantes em um determinado método são realmente aplicáveis na área que se deseja estudar e se possível obtê-los em quantidade e qualidade, levando também em consideração a distribuição das amostras (Pizani, 2003).

MAPA DE FLUXO SUBTERRÂNEO DE PIRATININGA

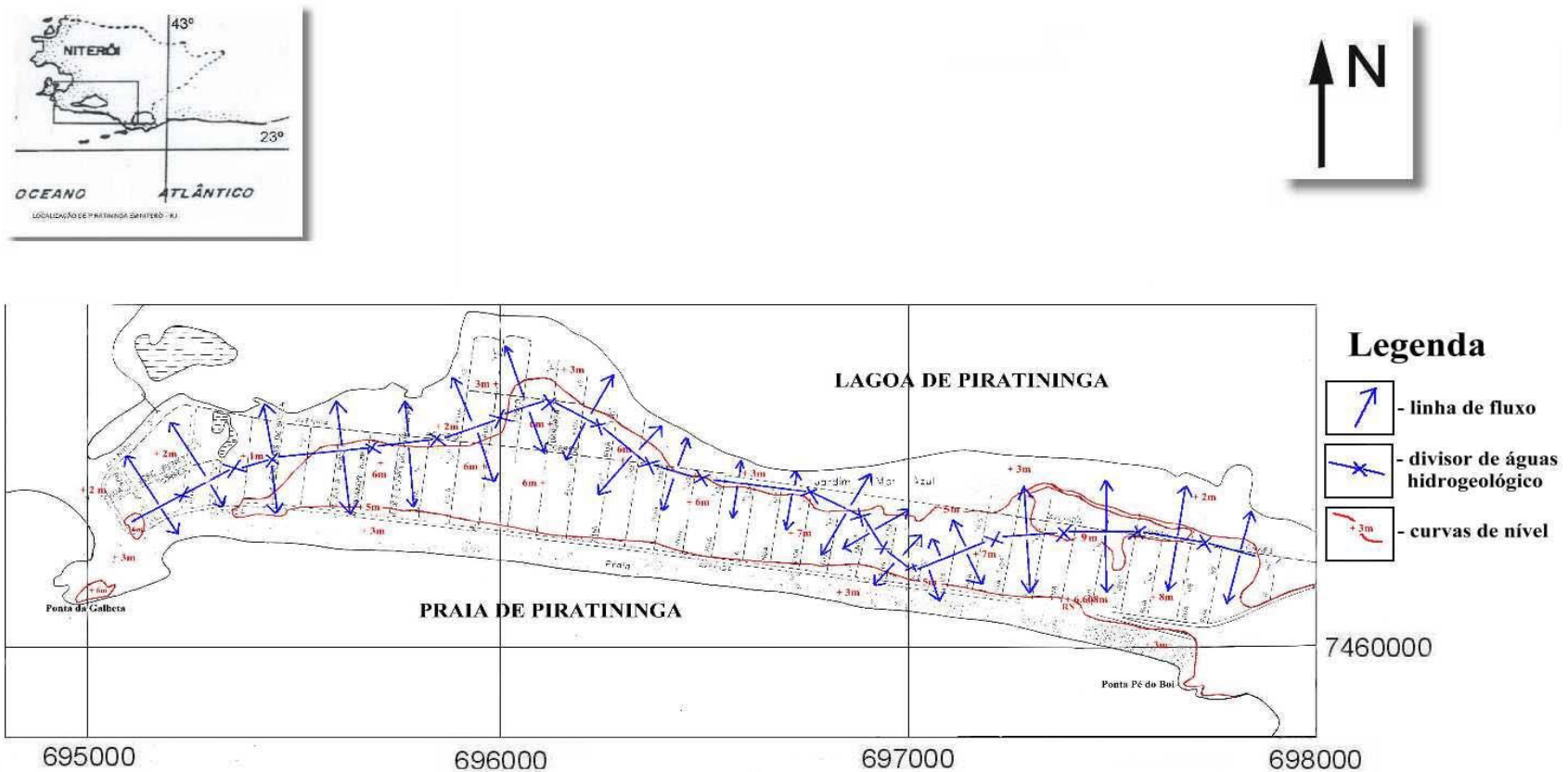


Figura 2: Mapa potenciométrico da restinga de Piratininga (Niterói) com direções de fluxo (Lowsby, 2000; Lowsby e Alves, 2000).

O conhecimento mais aprofundado das características hidrogeológicas da área que será avaliada permitirá que o pesquisador possa adaptar algum método de análise da vulnerabilidade ou crie um novo modelo mais adequado às condições reais da área em estudo. A vantagem de seguir um método padronizado é a comparação entre os índices de vulnerabilidade de áreas similares e ter um *background* estipulado para cada classe do mapa de vulnerabilidade. Porém, os modelos, em sua maioria, são projetados em regiões com climas bem diferenciados, podendo desenvolver solos com diferentes propriedades físico-químicas, as quais devem ser consideradas nesta avaliação (Aller *et al.*, 1987).

3.2. Aqüíferos costeiros (*Intrusão marinha*).

3.2.1. O Conceito da Interface Água Doce - Água Salgada e o Problema da Intrusão Marinha.

Os aqüíferos situados em regiões costeiras têm freqüentemente seus limites em contato com corpos de água salgada, e o aumento da taxa de bombeamento em função da crescente demanda pode causar o avanço da cunha salina em direção ao continente, provocando a salinização da água destes aqüíferos (modificado de Lowsby, 2000).

As águas do mar e das lagunas hidraulicamente conectadas com o oceano, infiltram-se pelo subsolo e caminham em direção ao continente. O lençol de água doce, menos denso que a água salgada, flutua por sobre a água salina delimitando uma superfície, muitas vezes difusa chamada zona de mescla. O estudo da forma, posicionamento e variação temporal desta interface é de extrema importância para preservação das águas subterrâneas (Lowsby, 2000).

O problema da intrusão salina, muitas vezes, impossibilita a utilização da água subterrânea para consumo público, daí a necessidade de se estudar e identificar a interface, também chamada zona de mescla, bem como de se avaliar as

variações de sua posição, sejam elas causadas pelo homem ou não, tentando-se dessa forma preservar a qualidade dos recursos hídricos subterrâneos.

As primeiras observações quantitativas sobre a intrusão marinha foram iniciadas separadamente por Badon-Ghyben na Holanda em 1889 e por Herzberg na Alemanha em 1901, ficando conhecido como o princípio de Ghyben - Herzberg. Os pesquisadores concluíram que a altura do nível da água doce (h) acima do nível do mar e a profundidade da sua base (Z) em relação ao mesmo nível guardam entre si uma relação de 1:40 (Custodio e Bruggeman, 1987). Ou seja, para cada metro que o nível estático fica acima do nível do mar, existem 40 metros de água doce abaixo dele. Ou mesmo, 1 metro de rebaixamento do nível estático implicará em 40 metros de elevação da interface, ainda que de forma vagarosa, pois a intrusão é um processo lento (Figura 3).

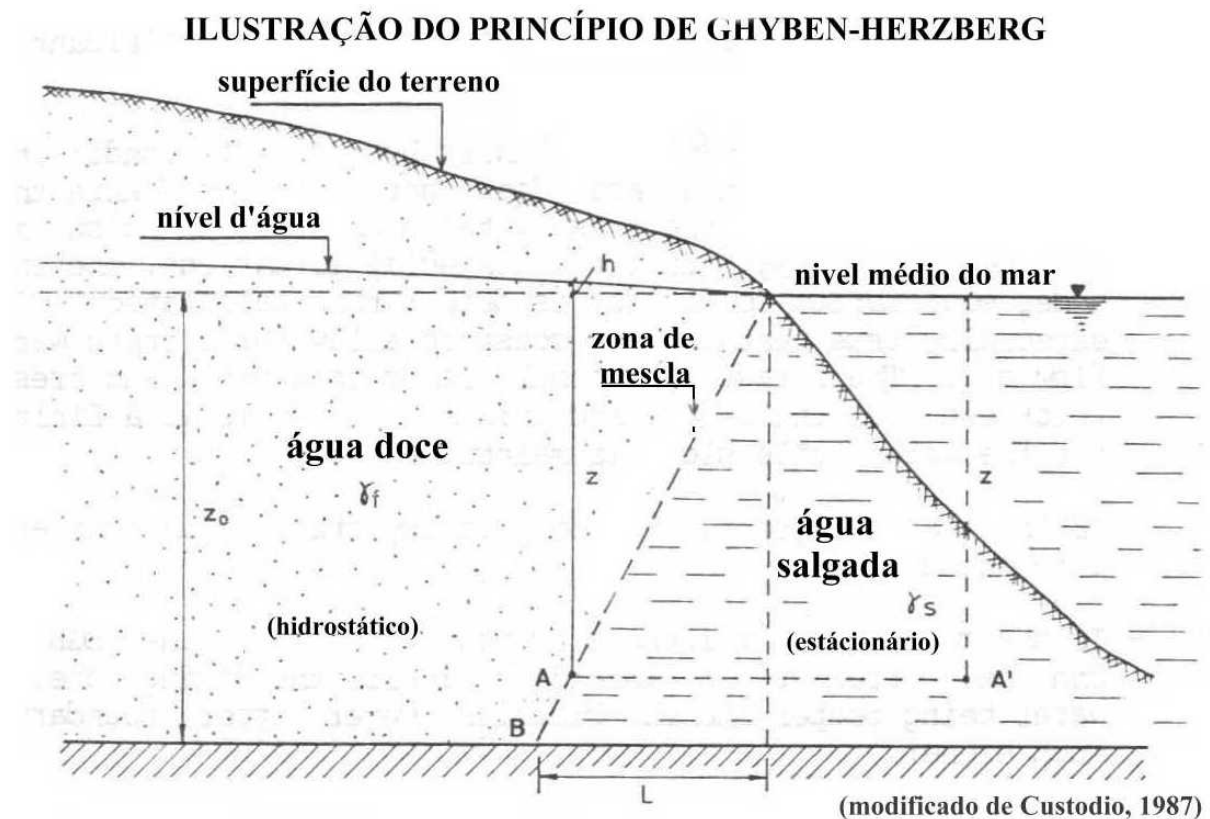


Figura 3: Ilustração do princípio de Ghyben-Herzberg (modificado de Custodio, 1987 in Lowsby, 2000).

4. Metodologia

4.1. Levantamento de dados hidrogeológicos

Foram realizados levantamentos para o reconhecimento geral da área do projeto e das áreas-piloto de Piratininga (Niterói) e Itaipuaçu (Maricá). Foram cadastrados cerca de 430 poços entre os municípios de Niterói e Rio das Ostras pela equipe do projeto ACOST-RIO. Esses pontos eram distribuídos em perfis perpendiculares à praia em direção ao continente, procurando-se observar a variação da salinidade com a profundidade e com a distância ao litoral através da coleta e análise química da água destes poços. Foram tomados dados como condutividade elétrica, concentração de cloretos, pH e temperatura. Também foram realizadas análises químicas completas e bacteriológicas em alguns pontos distribuídos em toda a área abrangida no projeto.

A partir da aquisição do medidor automático da variação do nível d'água em poços tubulares (*Level Logger*), houve a programação de três medições diárias desta variação durante os meses de maio e junho de 2002. Este monitoramento serve para analisar, juntamente com a variação pluviométrica neste mesmo período, o tempo que a água da chuva leva para alcançar o aquífero ou o tempo de recarga.

4.1.1. Trabalhos em Campo

Nas etapas de campo, foram realizadas amostragens para análise dos elementos maiores da água subterrânea e amostragens para análise de cloretos, com pontos d'água distribuídos na faixa costeira e as amostras encaminhadas ao Laboratório de Análises Minerais do Serviço Geológico do Brasil (LAMIN/CPRM).

Também foram realizadas em campo análises físico-químicas, levantamentos planialtimétricos, determinação da profundidade do nível d'água nos poços e instalação de medidor de nível automático programado para monitoramento diário da oscilação do nível d'água em poço tubular na região de Piratininga (Niterói), uma das áreas piloto do projeto.

4.1.2. Trabalhos em Gabinete

Para a caracterização hidrogeoquímica, os dados obtidos durante levantamentos de campo (parâmetros físico-químicos) e através das análises químicas de elementos maiores e de cloretos, foram tratados com a utilização do *software* Aquachem (Waterloo Inc.) e confeccionados diagramas de Piper, Schoeller e também da relação Cl^-/Na^+ .

Também foram produzidos mapas de isotores de cloretos e de condutividade elétrica para os anos de 1999, 2000 e 2002 para localização dos pontos de intrusão marinha.

4.2. Análise da Vulnerabilidade dos aquíferos

O modelo utilizado na caracterização da vulnerabilidade natural das unidades aquíferas foi o DRASTIC, desenvolvido nos Estados Unidos pela NWWA (National Water Well Association) juntamente com a USEPA (United States Environmental Protection Agency) para determinar uma metodologia padronizada que pudesse ser aplicado para todo os Estados Unidos (Aller, 1987 *in* Silva Jr, 2002).

O banco de dados utilizado foi resultante de pesquisas do projeto ACOST-RIO, tratando-os com técnicas de geoprocessamento utilizando o software SPANS-GIS.

5. Caracterização Regional da Área estudada

Realizou-se uma caracterização regional da área do projeto, através dos dados obtidos durante os levantamentos básicos e as campanhas de campo. Esta abordagem permitiu um reconhecimento generalizado dos municípios englobados pelo projeto em termos de caracterização das águas, relacionando-se ao ambiente (restinga, dunas, brejos mangues, aluviões). Também foram observadas fontes de contaminação das águas, como sistemas de saneamento utilizados, esgoto a céu aberto, localização de lixões, dentre outros.

Cada termo municipal da área abrangida pelo estudo apresentou algumas características peculiares. No caso de Rio das Ostras, Búzios e Arraial do Cabo, foram detectadas na região deficiências tanto em termos de abastecimento quanto de exploração de poços, devido à própria constituição dos terrenos da região, que são compostos principalmente por áreas alagadiças, associadas a ambientes de brejo e pântano bastante salinizados em alguns pontos. Nas áreas de São Pedro da Aldeia, Iguaba e Araruama, a cunha salina é condicionada principalmente pela localização dos municípios na porção norte da laguna de Araruama, que é uma laguna hipersalina e a maior em extensão da área de projeto. Saquarema e Maricá têm lagunas menores, também com salinidade elevada, mas inferiores à da laguna de Araruama. Contudo, os problemas são bastante semelhantes aos do entorno da laguna maior.

5.1. Geologia

O Projeto Carta Geológica do Estado do Rio de Janeiro (DRM, 1981) apresenta um conjunto de informações, análises e inferências vinculadas ao mapeamento geológico das folhas Baía de Guanabara, Itaboraí, Maricá e Saquarema, reunidas sob a designação de Bloco Baía de Guanabara. A área mapeada por este projeto abrange uma superfície continental de aproximadamente 2.300km² e acha-se contida num retângulo delimitado pelas coordenadas: 22° 30'00" e 23° 00'00" de latitude sul e 42° 30'00" e 43° 15'00" de longitude oeste (Alves, 2000).

Estruturalmente, observam-se na região evidências de mais de uma fase de deformação e, localmente, pelo menos 4 fases distintas foram identificadas. A orientação das unidades mapeadas é essencialmente NE-SW, com pequenas variações locais.

Estruturas disruptivas do tipo falhas e fraturas ocorrem abundantemente por toda área, e reativações sucessivas, ocorridas no Mesozóico-Cenozóico, associadas a magmatismo básico e alcalino deram-se, principalmente, segundo a direção preferencial do embasamento, ou seja, NE-SW. A existência de migmatização observada em todas as unidades mapeadas e a paragênese das seqüências aluminosas indicam condições metamórficas compatíveis com a fácies anfibolito alto, transição de grau médio para alto (Winkler *in*; Alves 2000).

A instabilidade paragenética caracterizada nas rochas "suite charnockítica" (Unidade Bela Joana) sugere preservação local de um ciclo metamórfico mais antigo, de fácies granulito. Três eventos metamórficos são aventados para explicar os metamorfitos e migmatitos encontrados, relacionado-os desde o Arqueano ao Transamazônico. Posteriormente às fases de metamorfismo e dobramento, teria se instalado a atividade magmática ácida, responsável pelos granitos maiores e os inúmeros diques de leucogranitos e pegmatitos da região. Durante o Cretáceo, a região teria sido palco de processos de reativação tectônica, acompanhada de magmatismo básico de natureza toleítica e, no início do Terciário, instalava-se uma fase de magmatismo alcalino acompanhada de

fraturamentos e falhamentos e de intensa silicificação. Como consequência desses falhamentos teria se originado ainda, a bacia receptora de calcário Itaboraí e seu conteúdo fossilífero (Alves, 2000).

Ao Terciário estão relacionados, também, os sedimentos da Formação Barreiras, seguidos de uma fase erosional durante o Pleistoceno e, no final deste, o mar estaria recuado, estabelecendo seu nível a cerca de 150m abaixo do atual. Durante esse período alternâncias de climas secos e úmidos ocorreram, propiciando a deposição de uma gama muito variável de sedimentos. A ascensão do nível dos mares, influenciada pelo degelo das calotas polares, marca a Transgressão Flandriana que, no seu clímax, deu origem à formação da Baía de Guanabara e outras enseadas ao longo do litoral fluminense (Alves, 2000).

A partir daí, deu-se início ao processo de formação das lagoas e deposição dos sedimentos quaternários. A presença humana, pré-histórica, nesse ambiente sedimentar, está registrada em vários pontos, pela ocorrência de sambaquis (Alves, 2000).

5.2. Hidrogeologia

Os aquíferos observados na área são dos tipos granular e fissural. O aquífero granular compreende depósitos aluvionares heterogêneos e as porções de solo e rocha alterada. Os sedimentos aluvionares são compostos predominantemente por areias quartzosas e, subordinadamente, siltosas e argilosas, que ocorrem nas proximidades das lagunas. Estes são decorrentes da formação da baixada litorânea durante os últimos movimentos de transgressão e regressão no Holoceno, entre 5.000 e 7.000 anos atrás. A baixada litorânea é formada por variações laterais, paralelas à linha de costa, de altos arenosos com vegetação rasteira típica de restinga e baixadas alagadiças areno-argilosas, que compõem os charcos e mangues da região. O nível d'água é geralmente

elevado, com profundidades de alguns centímetros até uns poucos metros. Na área dos areais, que corresponde aos locais mais elevadas, a água é mais clara e geralmente menos salobra que a água das baixadas alagadiças.

O nível freático no aluvião é bastante raso, chegando a atingir menos de 2 metros de profundidade nas porções mais baixas, aflorando periodicamente a medida que se aproxima das lagunas em função da influência da oscilação das marés.

O aquífero fissural é representado pelo embasamento cristalino fraturado e funciona, tudo indica, como um aquífero semi-confinado, mal conectado com o aquífero livre. Nos depósitos de restinga, a profundidade do nível d'água nas faixas centrais é mais elevada, tornando-se bem mais raso à medida que se aproxima do oceano e principalmente nas lagunas, aonde chega a atingir 1 m.

6. Resultados

Os resultados alcançados através do Laboratório de Hidrogeologia da UFRJ (HIDROGEO) permitem uma caracterização geral da área abrangida pelo projeto, bem como em áreas com maior nível de detalhamento como é o caso de Itaipuaçu, em Maricá e Piratininga, na Região Oceânica de Niterói.

6.1. Levantamento de dados hidrogeológicos

A dissertação de mestrado de Michael Lowsby (Lowsby, 2000) foi realizada na área-piloto de Piratininga (Niterói). Nessa área e também na área de Itaipuaçu, em Maricá, onde Torres (2001) realizou sua Monografia de final de curso pela Faculdade de Geologia da UERJ, estudos intensivos foram levados a cabo, em uma escala de muito maior detalhe que no restante da área. Os trabalhos de

Lowsby e de Torres (*op. cit.*) tiveram como objetivo caracterizar o processo de intrusão salina nos aquíferos costeiros das áreas de Piratininga, Niterói, e Itaipuaçu, em Maricá, visando uma avaliação detalhada do problema nestes locais, com a determinação da extensão do problema e principalmente da qualidade das águas desses aquíferos, a partir do uso de ferramentas como a caracterização geológica, geofísica e a geoquímica.

Para o desenvolvimento do trabalho, tanto nas áreas-piloto como no restante da área de trabalho, foram medidos os níveis estáticos, medidas as propriedades físico-químicas *in situ* e coletadas amostras de água para realização de análises químicas e bacteriológicas, a partir das quais foram realizadas elaborações e interpretações hidroquímicas. Nas áreas-piloto, em particular, foram também realizados nivelamentos topográficos, levantamentos geofísicos e sondagens que permitiram um monitoramento mais detalhado das características hidrodinâmicas e hidrogeoquímicas locais.

6.2. Análises químicas e isotópicas

6.2.1. Piratininga (Niterói) e Itaipuaçu (Maricá)

Através dos resultados obtidos pelas análises químicas foi possível delimitar áreas de isovalores de condutividade elétrica na área piloto de Piratininga (Niterói). A Figura 4 foi retirada da dissertação de mestrado de Lowsby (2000) e através deste mapa foi possível verificar a contaminação pelo avanço da cunha salina, variando seu grau de acordo com a proximidade do mar e com a profundidade dos poços, observando-se o perigo de salinização dos aquíferos locais a curto/médio prazo, mantidas as projeções de aumento de consumo. Mais adiante veremos como essa cunha salina variou ao longo do tempo.

Os resultados dos trabalhos indicam que a concentração de sal na água geralmente variava com a proximidade do litoral, com a profundidade e com condicionantes estratigráficos e geomorfológicos. Nos poços da área de Piratininga (Niterói) foi observada uma variação da condutividade do mar em direção a lagoa. Os quiosques próximos à orla marítima apresentam poços altamente salinizados, enquanto que as residências próximas à lagoa apresentam valores bem inferiores, porém igualmente influenciados. Na parte central dos perfis realizados na região, notaram-se os valores mais baixos para condutividade elétrica, chegando a menos de 0,4 mS/cm. No mar, a medida da condutividade apresentou valores de 48 mS/cm enquanto que na lagoa foi obtido o valor de 19,8 mS/cm.



Figura 4: Mapa de linhas de isocondutividade elétrica na área-piloto de Piratininga (Niterói).

As águas subterrâneas de Piratininga (Niterói) são do tipo cloretadas-sódicas (Figura 5) e as águas de Itaipuaçu (Maricá) são do tipo cloretadas-sódicas com presença significativa de bicarbonatos (Figura 6). A partir do parâmetro

concentração de cloreto e análise de elementos maiores, foi possível dividir a área quanto à concentração de sais presente na água, em três regiões hidrogeológicas principais: (1) a faixa costeira, que apresenta os maiores valores de concentração de cloreto devido a proximidade com o mar e ao afinamento natural da extremidade da cunha de água doce do cordão arenoso; (2) a central, que apresenta as águas de melhor qualidade, com pouca contaminação salina, devido, principalmente, à contribuição de água das chuvas, à distância com o mar e à maior espessura do corpo de água doce ; e, por último, (3) a lagunar, que apresenta águas com qualidade relativamente boa, tendo como limitação, mais uma vez, o afinamento natural da extremidade da cunha de água doce do cordão arenoso, isto é, quanto mais próximos forem os poços da lagoa, menores deverão ser suas profundidades de captação, a fim de evitar o bombeamento de água salgada.

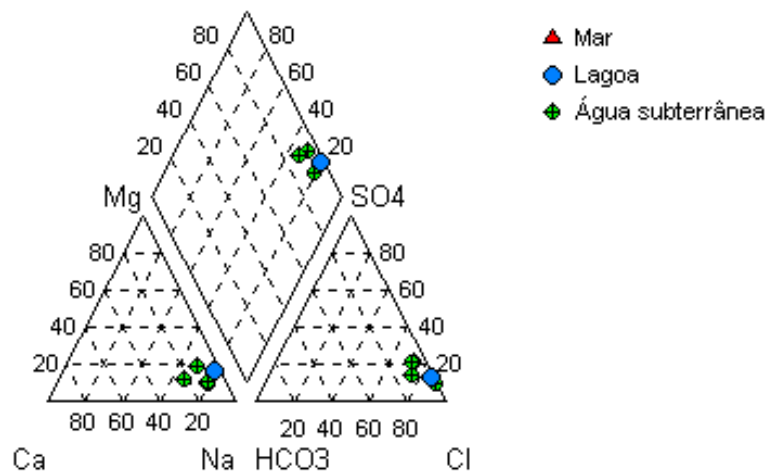


Figura 5: Diagrama de Piper para as águas subterrâneas de Piratininga (Niterói).

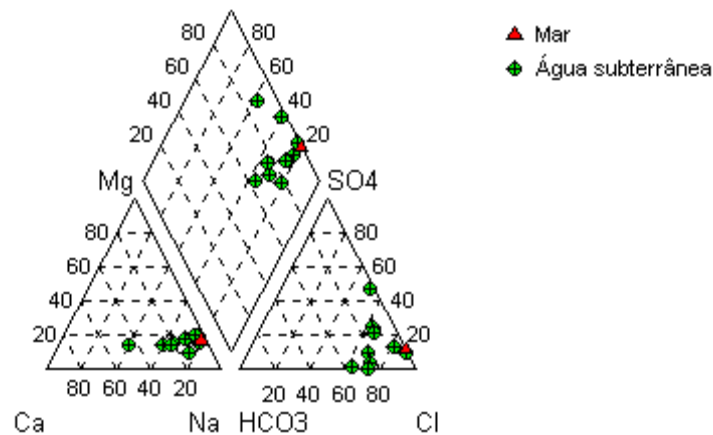


Figura 6: Diagrama de Piper para as águas subterrâneas de Itaipuaçu (Maricá).

Evidenciou-se, a partir da análise dos diagramas de dispersão Cl^-/Na^+ , indícios de salinização em função da intrusão marinha provinda tanto do mar quanto da lagoa, no caso de Piratininga (Niterói) (Figura 7), onde esta relação segue um *trend* característico de diluição da água marinha, verificado para as águas do mar e da lagoa. Em Itaipuaçu (Maricá) também foram verificados os mesmos indícios, porém em menores concentrações de sais (Tabela 1).

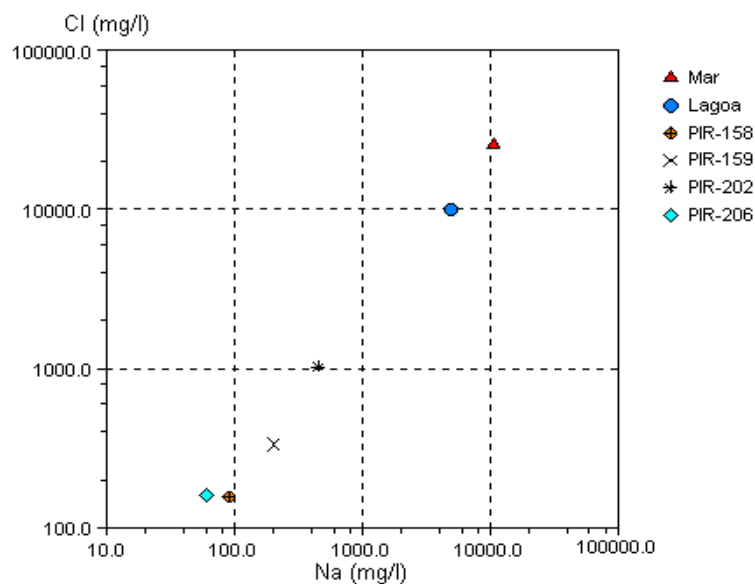


Figura 7: Relação entre os íons cloreto e sódio em águas subterrâneas de Piratininga (Niterói).

Tabela 1 : Valores médios de profundidade dos poços, do nível estático, dos parâmetros físico-químicos e dos teores de cloretos.

Localização	Prof.	N.E.	[Ph]	[CE] uS/cm	Cl⁻ (mg/l)
Piratininga (Niterói)	7.26	4.01	6.41	6008	4376
Itaipuaçu (Maricá)	8.14	3.88	6.07	3517	1030

O estudo das águas dos poços também demonstrou que estas eram, em alguns casos, uma mescla da água do mar e da chuva ou água do mar diluída, como pode ser verificado no diagrama de Schoeller, comparando as curvas de concentrações dos íons principais das águas do mar e subterrâneas (Figuras 8 e 9).

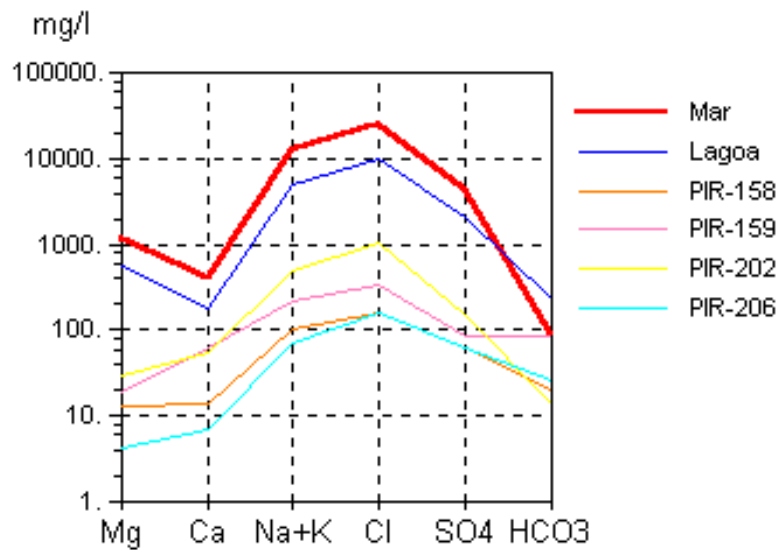


Figura 8: Diagrama de Schoeller das águas subterrâneas de Piratininga (Niterói).

Na praia de Camboinhas, a leste de Piratininga (Niterói), a condutividade elétrica é baixa, decrescendo na proporção em que se afasta do mar para a faixa interior. O mesmo pode ser dito em relação à proximidade da laguna de Itaipu. No perfil realizado na área de Itacoatiara, perpendicular à linha de costa, caracterizou-se a ocorrência de uma espessa lâmina de água doce, mesmo nas residências localizadas na rua da praia. Neste local não ocorre a intrusão salina devido às características geomorfológicas da região.

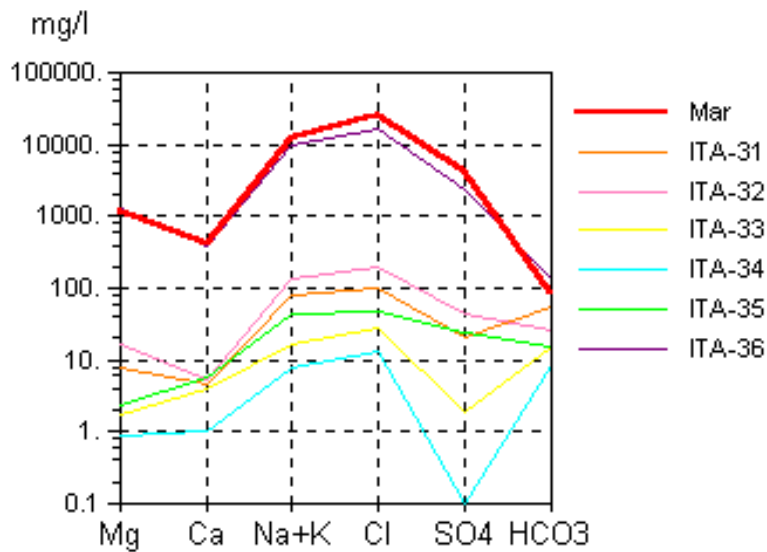


Figura 9: Diagrama de Schoeller das águas subterrâneas de Itaipuaçu (Maricá).

6.2.2. Araruama e Iguaba Grande

A lagoa de Araruama é a maior lagoa hipersalina do país. Sua salinidade é atribuída ao déficit hídrico aliado às condições climáticas e uma reduzida bacia de drenagem, com aproximadamente 350 km² (Kjerlve *et al.*, 1996).

Analisando o diagrama de Piper em Araruama (figura 10) observamos que a água é do tipo sódico-cloretada. Segundo Tubbs (1994), os altos valores de íon sulfato (SO₄²⁻) encontrado nas águas subterrâneas estão relacionados a uma possível fonte marinha e aos sedimentos flúvio-lacustres, o que não é marcante na análise da água subterrânea, pois esta apresenta apenas tendência a

sulfatada. Analisando o diagrama, observamos uma evolução desde a água da chuva a caminho da água da Lagoa de Araruama.

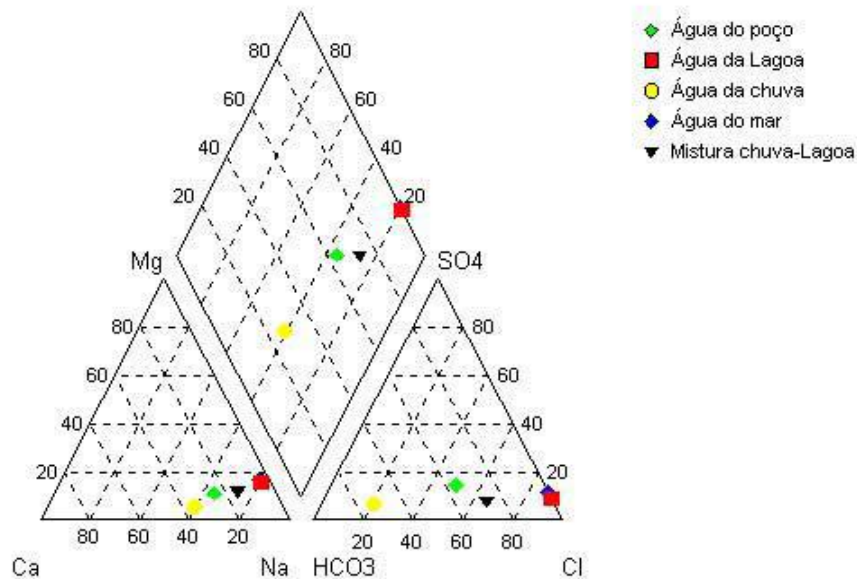


Figura 10: Diagrama de Piper em Araruama.

A análise do diagrama de dispersão (figura 11) para a razão iônica entre o sódio e o cloreto mostra que as análises da água subterrânea e da modelagem possuem as mesmas tendências entre as suas razões Na/Cl , assim como a amostra colhida da Lagoa de Araruama e do mar, enquanto se destaca a amostra referente à água da chuva com razão superior, indicando assim uma mesma origem para estas amostras.

Os valores obtidos para as razões $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ e $\text{Cl}^{-}/\text{HCO}_3^{-}$ foram, respectivamente, 0,27 e 0,81 (figuras 12 e 13). Desta forma, para a razão $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ considera-se o intervalo de 0,25-0,33 para águas que circularam através de rochas de composição granítica. Enquanto que para a razão $\text{Cl}^{-}/\text{HCO}_3^{-}$ adota-se valor de 0,1-5,0 para águas continentais e 20-50 para águas do mar.

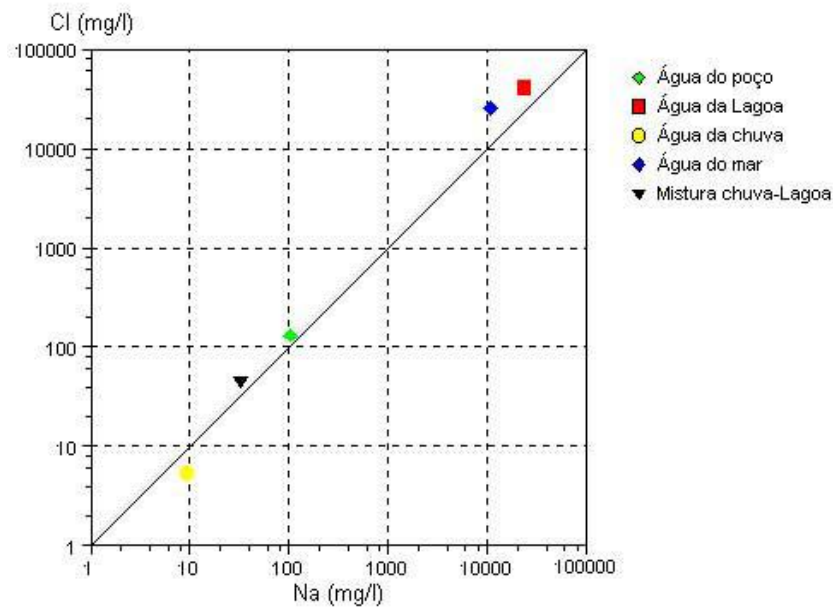


Figura 11: Diagrama de dispersão da razão Cl^-/Na^+ em Iguaba Grande.

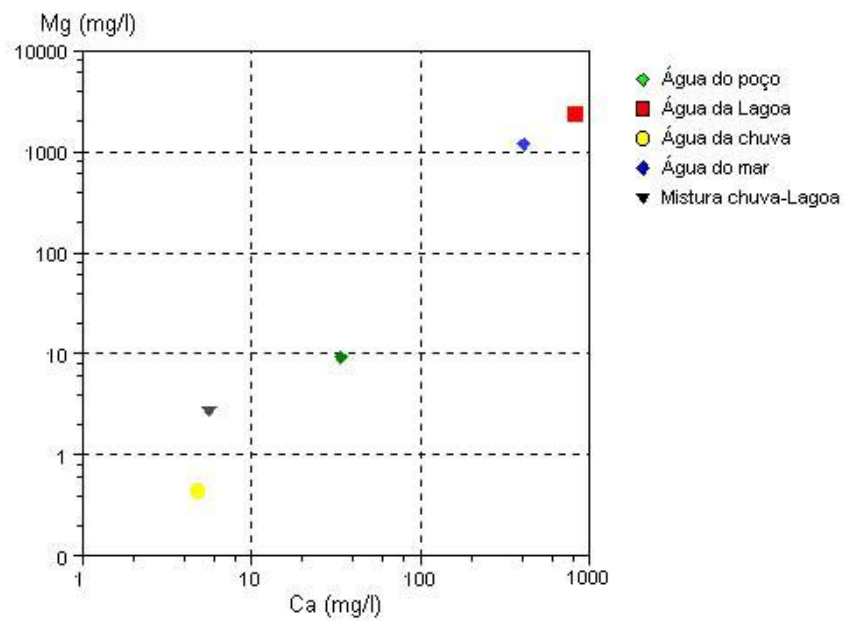


Figura 12: Diagrama de dispersão da razão Mg/Ca em Iguaba Grande.

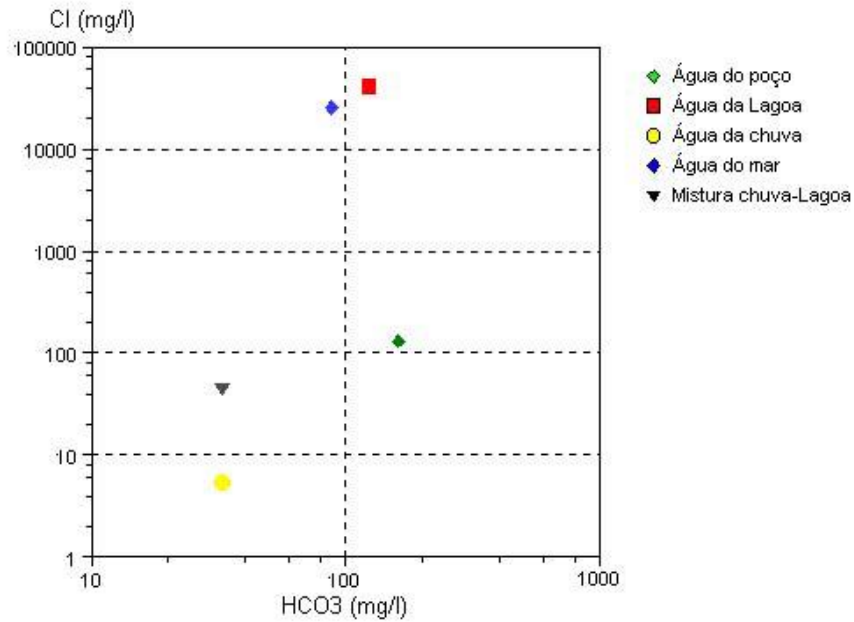


Figura 13: Diagrama de dispersão da razão HCO_3^-/Cl em Iguaba Grande.

A análise do diagrama de Schoeller (figura 14) vem confirmar o que foi exposto acima, além de apresentar claramente a evolução de cada tipo de água dentro de sistema hídrico. Nota-se uma proporção entre os cátions e os ânions entre as amostras. Entretanto, esta proporção é quebrada pelo cálcio e pelo íon bicarbonato na mistura hipotética entre água da chuva e água da lagoa, pois estas apresentaram valores semelhantes a análise da chuva.

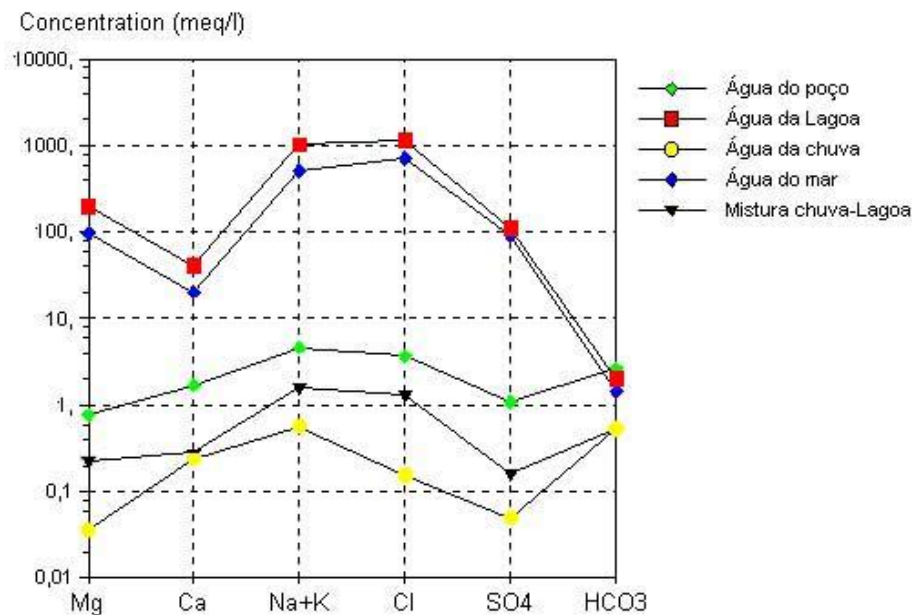


Figura 14: Diagrama de Schoeller das águas subterrâneas em Iguaba Grande.

6.2.3. Saquarema, Cabo Frio, Búzios, Arraial do Cabo e Rio das Ostras

Nos municípios de Saquarema, Cabo Frio, Búzios, Arraial do Cabo e Rio das Ostras também foram feitas coletas e geração de diagramas de dispersão da razão Cl^-/Na^+ e diagramas de Schoeller das águas subterrâneas (Figuras 15 a 24). Em todas essas localidades o resultado foi similar aos resultados encontrados na área piloto de Piratininga (Niterói), ou seja, indícios de salinização em função da intrusão marinha, e apresentando um “*trend*” característico de diluição da água marinha, verificado para as águas do mar e da lagoa.

É importante salientar também que em grande parte dessas áreas já existia um estudo gerado pela Universidade Federal Fluminense (UFF) com parceria com a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e com a Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM), que era o projeto RESUB (Rede de Geotecnologia em Águas Subterrâneas). Deste projeto resultaram muitas

análises hidrogeoquímicas que puderam ser comparadas com os resultados do atual projeto e apresentando um resultado muito similar.

Conforme representado nos diagramas de Dispersão e de Shoeller, as águas subterrâneas do município de Saquarema (Figuras 15 e 16), são caracterizadas como cloretadas sódicas e bicarbonatadas sódicas. Apresentam significativas concentrações de sulfato.

Conforme representado nos diagramas de Dispersão e de Shoeller (Figuras 17 a 20), as águas subterrâneas do município de Cabo Frio e de Búzios, são caracterizadas como cloretadas sódicas e apresentam significativas concentrações de cálcio e sulfato.

Nos municípios de Arraial do Cabo e Rio das Ostras as águas subterrâneas são caracterizadas como bicarbonatadas sódicas. Em ambos municípios apresentam significativas concentrações de cloreto e sulfato, com exceções em algumas localidades em Rio das Ostras (Figuras 21 a 24).

Diagrama de Dispersão Na/Cl - Saquarema

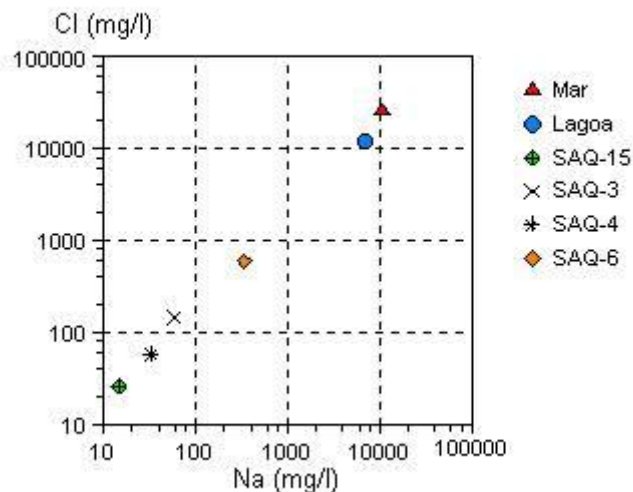


Figura 15: Diagrama de Dispersão da razão Cl^-/Na^+ em Saquarema.

Diagrama de Schoeller - Saquarema

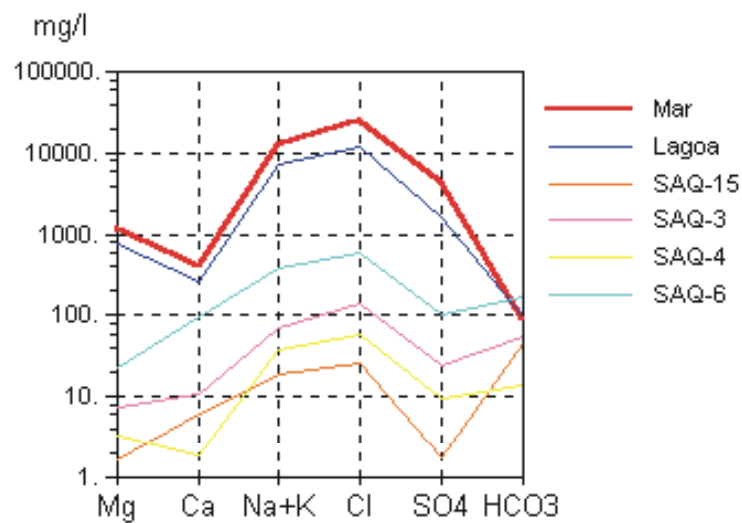


Figura 16: Diagrama de Schoeller das águas subterrâneas em Saquarema.

Diagrama de Dispersão Na/Cl - Cabo Frio

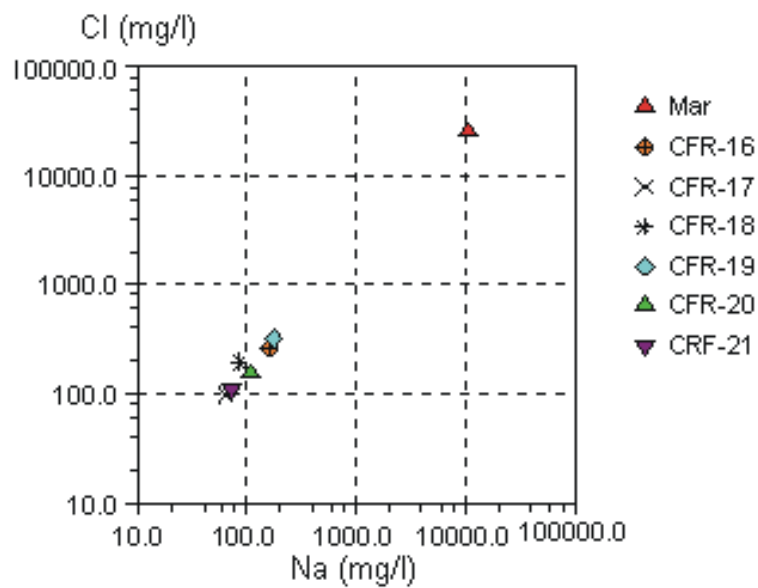


Figura 17: Diagrama de Dispersão da razão Cl^-/Na^+ em Cabo Frio.

Diagrama de Schoeller - Cabo Frio

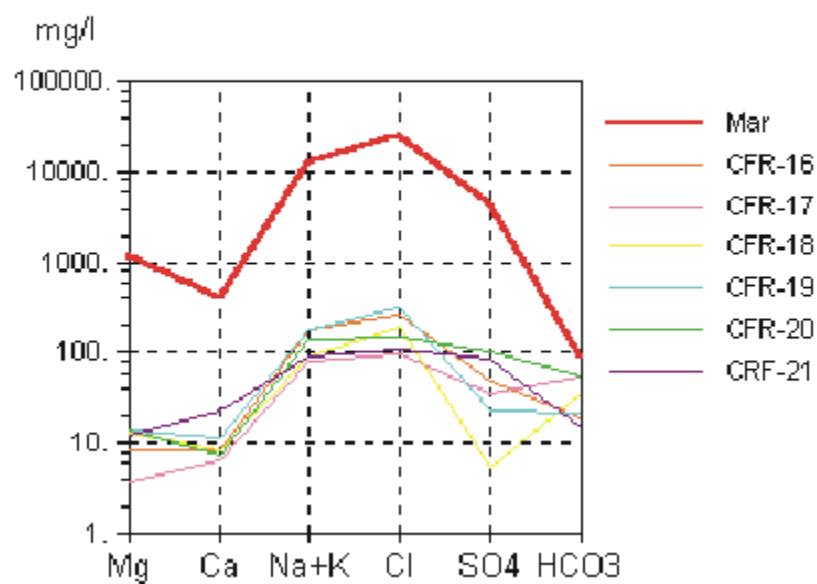


Figura 18: Diagrama de Schoeller das águas subterrâneas em Cabo Frio.

Diagrama de Dispersão Na/Cl - Búzios

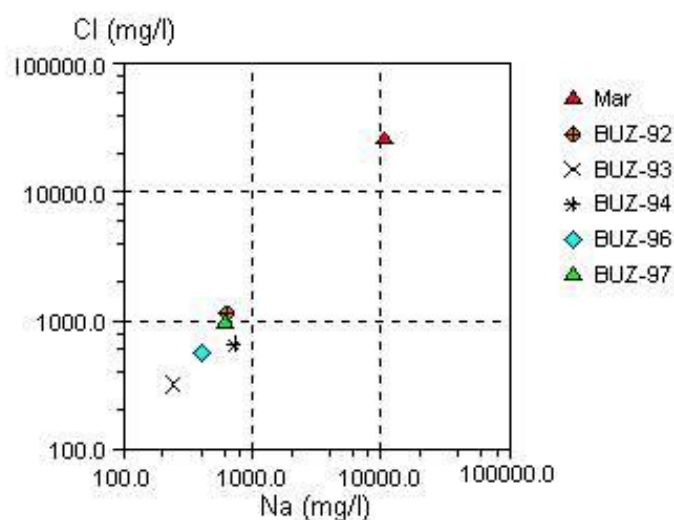


Figura 19: Diagrama de Dispersão da razão Cl^-/Na^+ em Búzios.

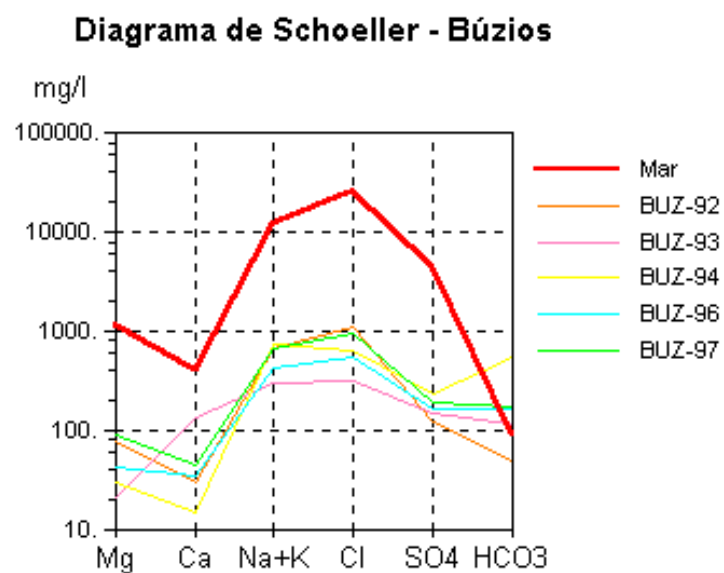


Figura 20: Diagrama de Schoeller das águas subterrâneas em Búzios.

Diagrama de Dispersão Na/Cl - Arraial do Cabo

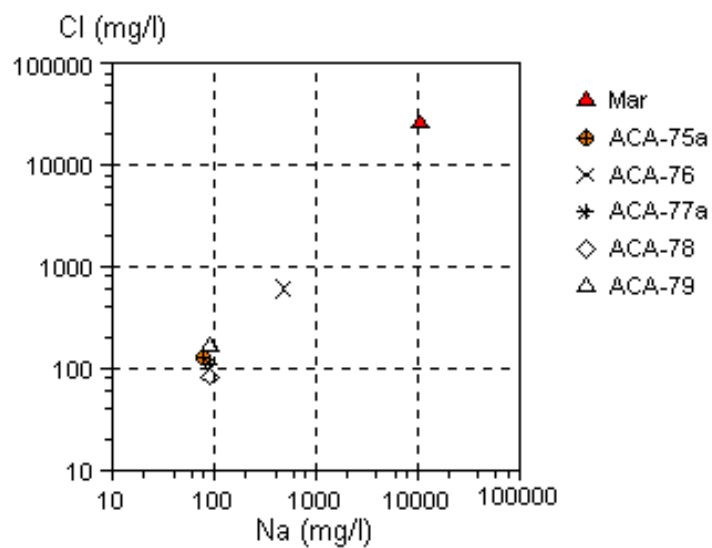


Figura 21: Diagrama de Dispersão da razão Cl/Na^+ em Arraial do Cabo.

Diagrama de Schoeller - Arraial do Cabo

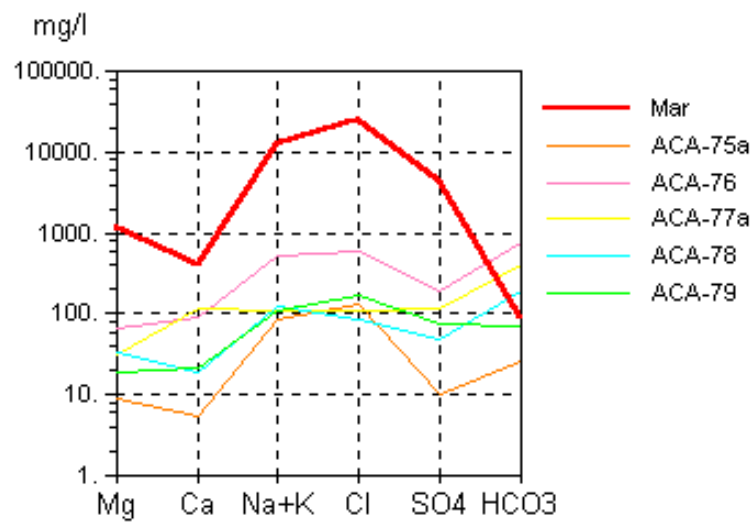


Figura 22: Diagrama de Schoeller das águas subterrâneas em Arraial do Cabo.

Diagrama de Dispersão Na/Cl - Rio das Ostras

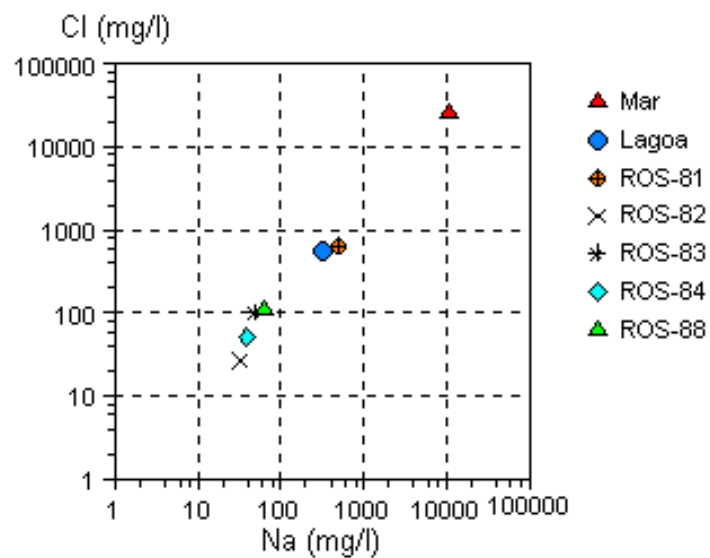


Figura 23: Diagrama de Dispersão da razão Cl/Na^+ em Rio das Ostras.

Diagrama de Schoeller - Rio das Ostras

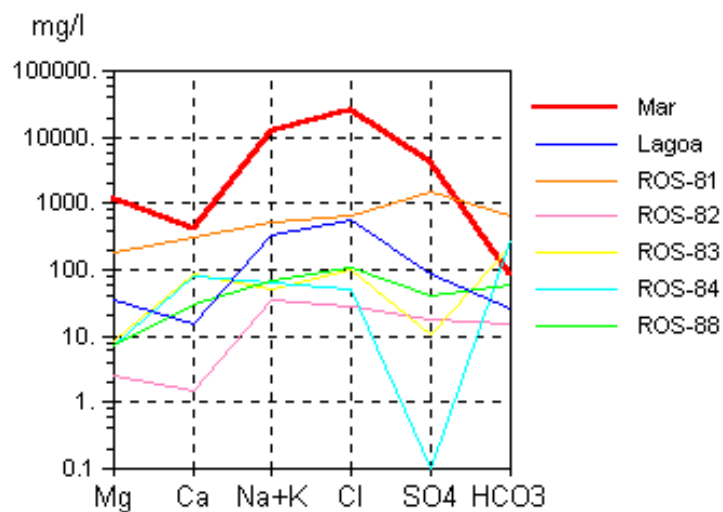


Figura 24: Diagrama de Schoeller das águas subterrâneas em Rio das Ostras.

6.3. Monitoramento da Cunha Salina nos Aquíferos Costeiros de Piratininga (Niterói):

A partir da comparação dos mapas de distribuição de cloretos e de condutividade elétrica, percebe-se que ao longo dos anos houve um rápido recuo da cunha salina do continente para o mar, principalmente no ano de 2002 (Figuras 25 a 30), devido a diminuição do números de poços ativos e, conseqüentemente, do uso da água subterrânea em Piratininga (Niterói) (Cruz *et al.*, 2003).

Mapa de distribuição de Cloreto em 1999

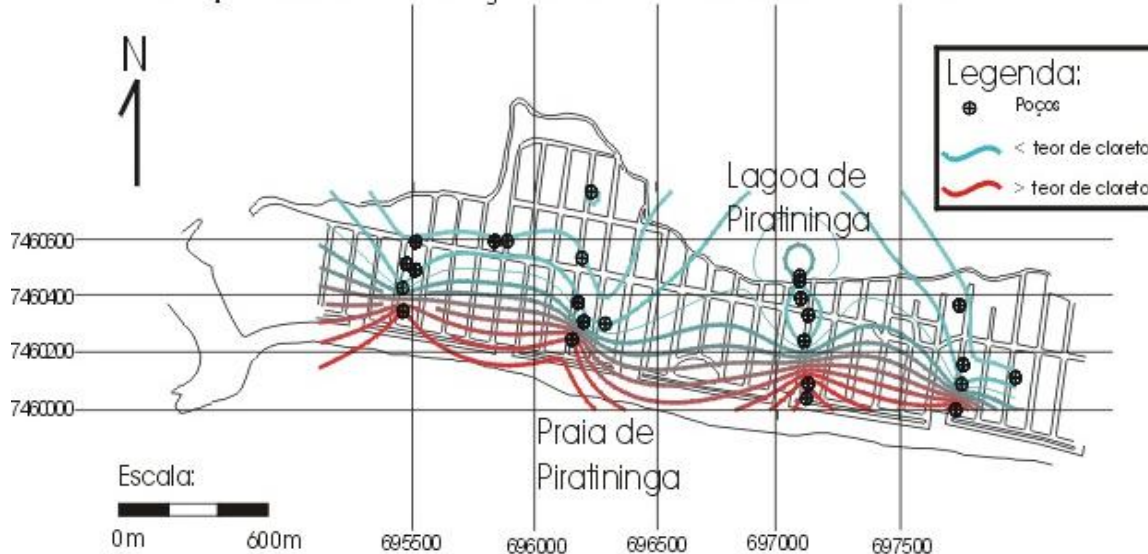


Figura 25: Mapa de distribuição de cloreto no ano de 1999 (Piratininga).

Mapa de distribuição de Cloreto em 2000

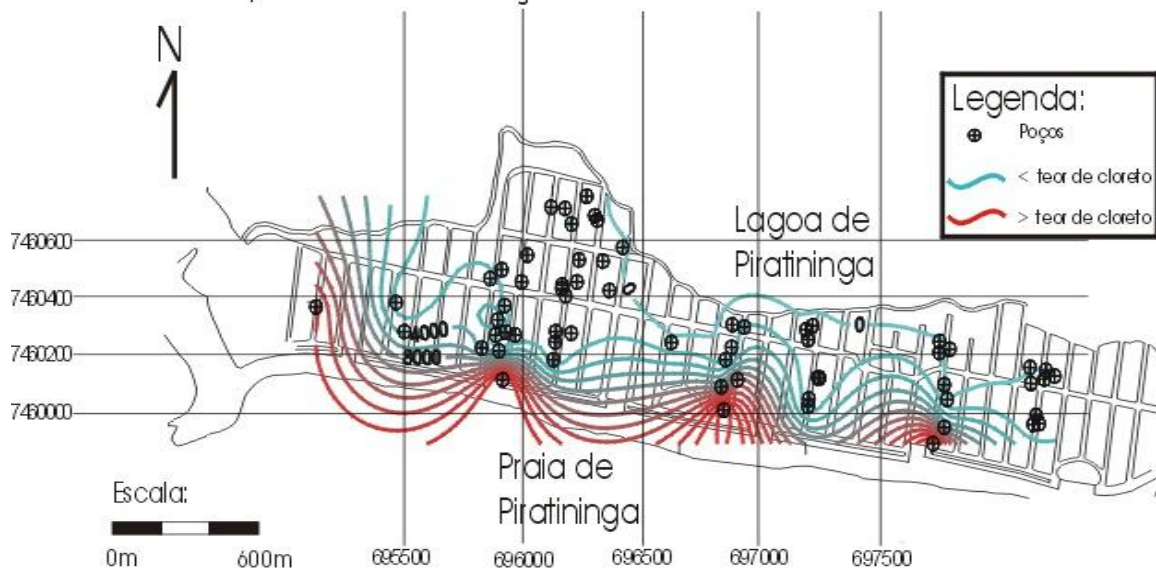


Figura 26: Mapa de distribuição de cloreto no ano de 2000 (Piratininga).

Mapa de distribuição de Cloreto em 2002

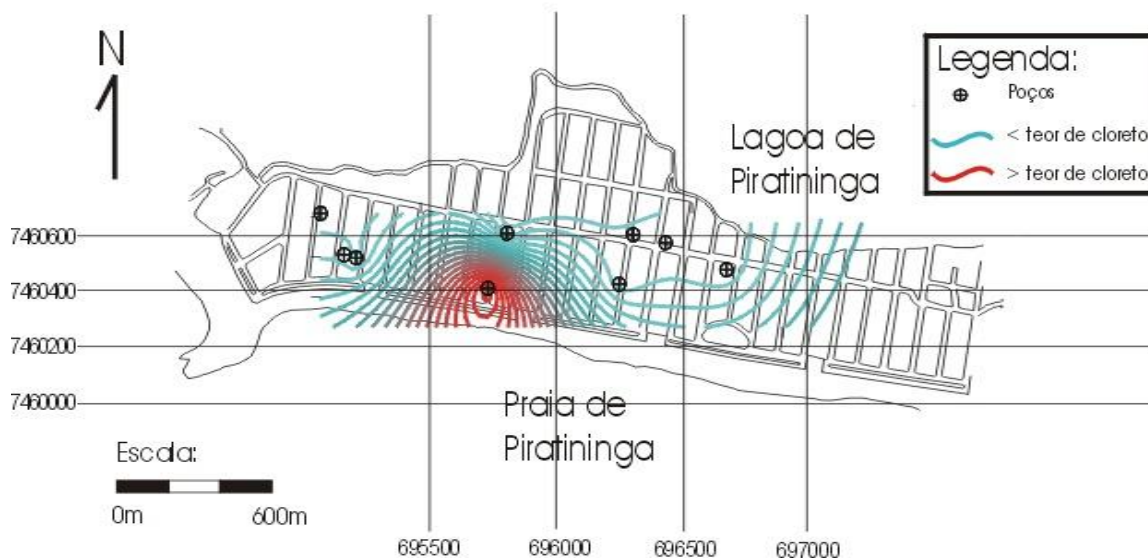


Figura 27: Mapa de distribuição de cloreto no ano de 2002 (Piratininga).

Mapa de Condutividade Elétrica em 1999

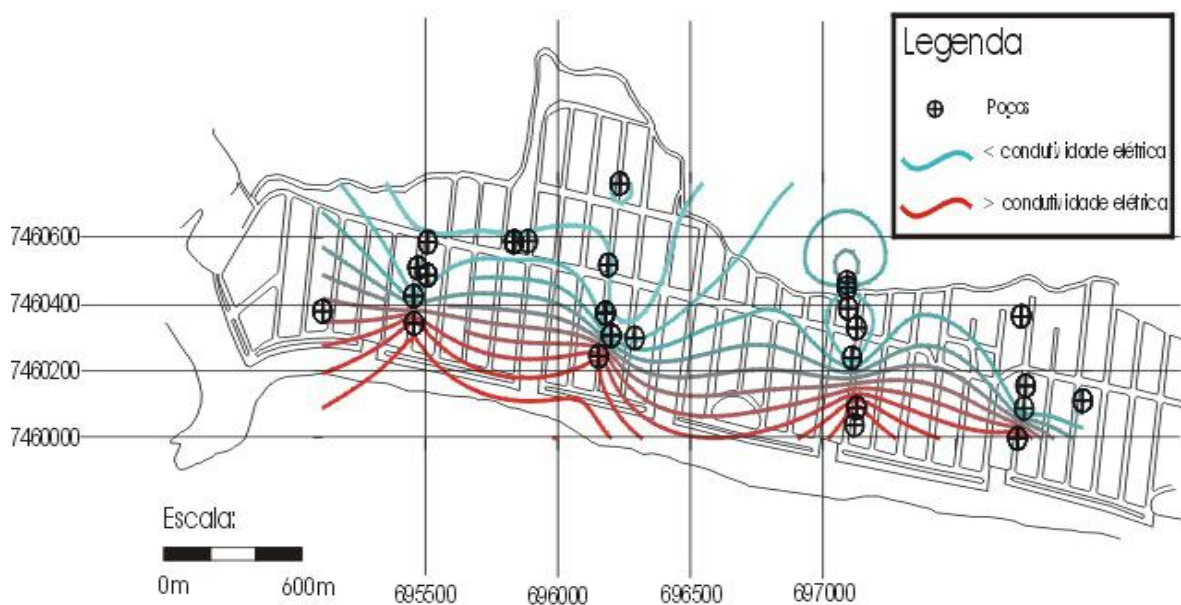


Figura 28: Mapa de Condutividade Elétrica no ano de 1999 (Piratininga).

Mapa de Condutividade Elétrica em 2000

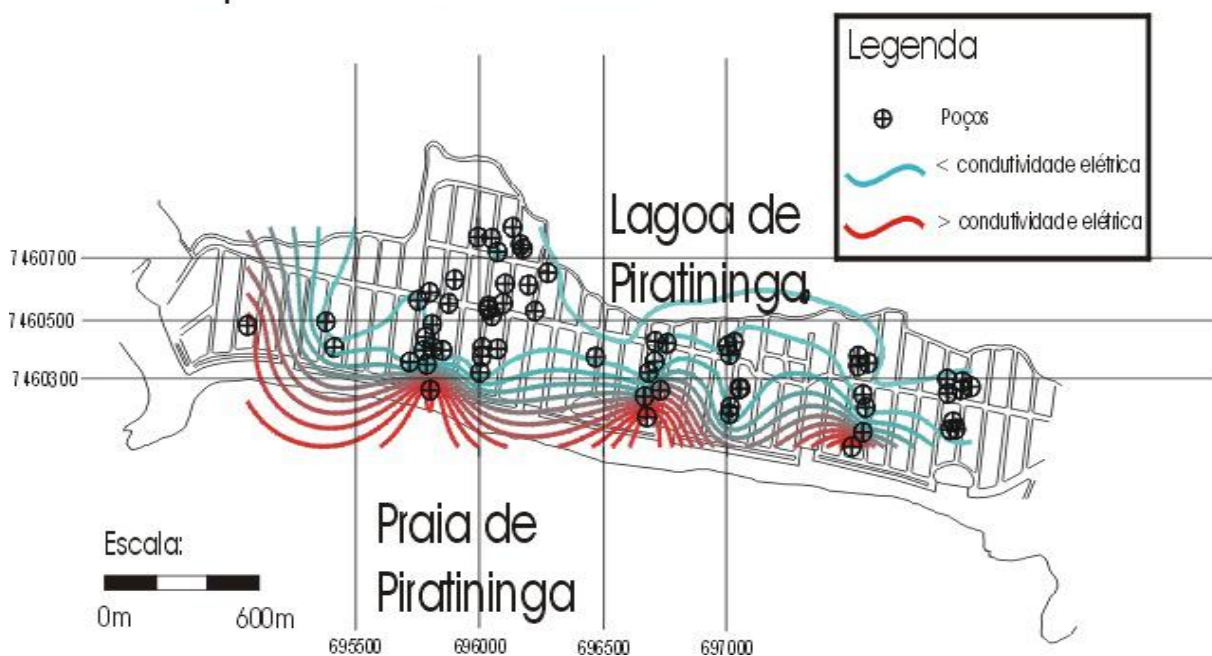


Figura 29: Mapa de Condutividade Elétrica no ano de 2000 (Piratininga).

Mapa de Condutividade Elétrica em 2002

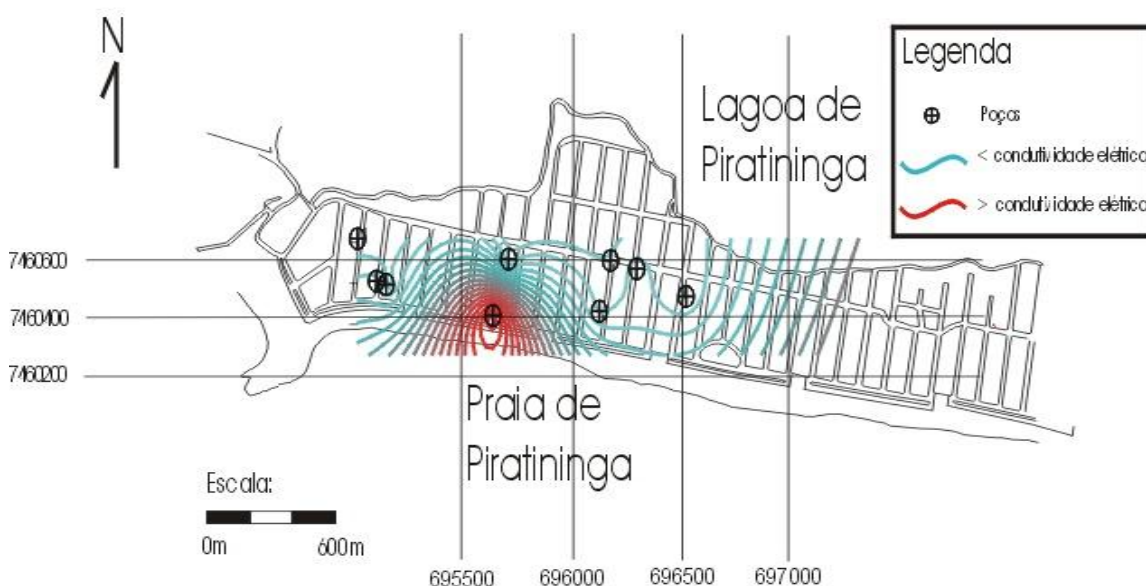


Figura 30: Mapa de Condutividade Elétrica no ano de 2002 (Piratininga).

6.4. Análise Bacteriológica

As análises bacteriológicas para a amostra da água subterrânea e da Lagoa de Araruama apresentaram valores apresentados abaixo na tabela 2. Estão, assim, aceitáveis segundo a resolução CONAMA20/86, para água do tipo Classe II.

Tabela 2 : Resultado das Análises Bacteriológicas.

Método	Membrana Filtrante	Membrana Filtrante	Membrana Filtrante
Elemento	Coliforme Total Coliforme/100	Coliforme Fecal Coliforme/100	Contagem em placas (UFC/mL)
Água Subterrânea	100	1	300
Lagoa de Araruama	8	1	120

As águas classificadas como tipo Classe II são destinadas para os seguintes fins: abastecimento doméstico após tratamento simplificado; à proteção das comunidades aquáticas; recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho); à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; à criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana (Pinheiro da Silva, 2000).

6.5. Monitoramento da oscilação do nível d'água na área piloto de Piratininga (Niterói):

A oscilação do nível d'água em Piratininga (Niterói) foi verificada com a instalação do medidor de nível d'água eletrônico (*level logger*) durante os meses de maio e junho de 2002. A partir das medições de pluviosidade na estação do

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizada no município de Maricá, foi possível verificar a rápida ascensão do nível da água subterrânea (figura 31).

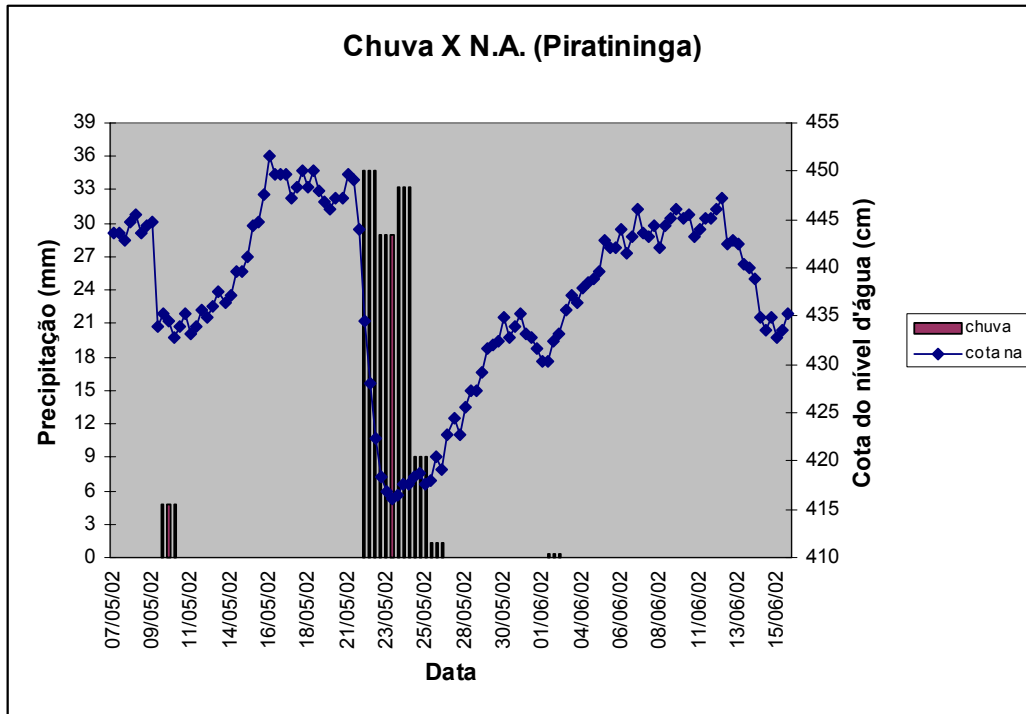


Figura 31: Gráfico da oscilação do nível d'água e da pluviometria.

A partir do gráfico acima, é possível verificar que a resposta da variação do nível d'água é quase que imediata à precipitação local. Este resultado é típico em áreas de aquíferos costeiros, evidenciando a alta vulnerabilidade à contaminação.

É importante destacar que a estação pluviométrica não se encontra na mesma localidade do ponto de observação da oscilação do nível d'água. Isto significa que os eventos de precipitação podem estar sub-estimados nos dias 10 de maio e 2 de junho, devido ao acréscimo de 18 centímetros no nível d'água.

As oscilações menores foram relacionadas às influências de maré que, devido às altas condutividades hidráulicas dos aquíferos costeiros, os níveis potenciométricos apresentam-se bastantes sensíveis às marés.

6.6. Análise da vulnerabilidade dos aquíferos:

O termo vulnerabilidade à contaminação de aquíferos se refere à sensibilidade de um aquífero a uma carga contaminante em função de suas características intrínsecas. A escolha de um método para análise da vulnerabilidade é uma função da disponibilidade de dados e das características da região. Cabe ao pesquisador avaliar se os parâmetros considerados relevantes em um determinado método são realmente aplicáveis na área que se deseja estudar e se é possível obtê-los em quantidade e qualidade, levando também em consideração a distribuição das amostras (Pizani, 2003).

O método DRASTIC (Aller, 1987 *in* Silva Jr. e Pizani, 2002) fornece ao usuário um índice relativo de potencial à contaminação das águas subterrâneas, podendo conseqüentemente ser um de muitos critérios usados em escolhas das decisões, mas não deve ser o único critério.

A sigla DRASTIC é derivada de sete fatores considerados neste método. As letras que compõem a sigla são as iniciais dos parâmetros em inglês.

- (D) – profundidade do nível da água subterrânea (*depth*);
- (R) – recarga do aquífero (*recharge*);
- (A) – litologia do aquífero (*aquifer media*);
- (S) – tipo de solo (*soil media*);
- (T) – topografia (*topography*);
- (I) – litologia da zona vadosa (*impact of vadose zone*);
- (C) – condutividade hidráulica (*hydraulic conductivity*).

A ponderação de cada fator DRASTIC está relacionada à sua importância relativa, em função das condições locais, para avaliar o potencial de

contaminação da água subterrânea. A cada fator DRASTIC foi atribuído um peso relativo que varia de 1 a 5. Os fatores mais significativos têm pesos iguais a 5 (tabela 3). Estes fatores têm pesos diferentes para regiões agrícolas e não agrícolas, sendo este o caso do presente trabalho.

Tabela 3 : Pesos atribuídos aos parâmetros DRASTIC.

Parâmetros	Pesos
Profundidade do N.A.	5
Área de recarga	4
Tipo de aquífero	3
Tipo de solo	2
Topografia	1
Litologia da zona vadosa	5
Condutividade hidráulica	3

São atribuídas notas às unidades de cada fator DRASTIC para determinar o significado relativo de cada unidade com respeito ao potencial de contaminação. Essas notas variam entre 1 e 10 e quanto maior for a nota, maior será a probabilidade de uma carga contaminante atingir o nível d'água.

Foram utilizadas as seguintes notas:

1 = Probabilidade muito baixa;

3 = Probabilidade baixa;

5 = Probabilidade moderada;

8 = Probabilidade alta;

10 = Probabilidade muito alta

Tabela 4 : Notas atribuídas às classes do parâmetro profundidade do nível d'água.

Profundidade do nível d'água (m)	
Classes	Notas
0-2	10
2-4	8
4-8	5
> 8	1

Tabela 5 : Notas atribuídas às classes do parâmetro área de recarga.

Área de recarga (hm³/ano)	
Classes	Notas
< 20	1
20 - 80	5
80 - 140	8
> 140	10

Tabela 6 : Notas atribuídas às classes do parâmetro litologia do aquífero.

Litologia do aquífero	
Classes	Notas
Cristalino	1
Aluvião	8
Cordão arenoso	10
Mangue	1

Tabela 7 : Notas atribuídas às classes do parâmetro tipo de solo.

Tipo de solo	
Classes	Notas
Aluvionar	8
Hidromórfico	3
Cambissolo	5
Duna	10
Glei	1
Latossolo	8
Podzólico	3

Tabela 8 : Notas atribuídas às classes do parâmetro topografia.

Topografia (declividade %)	
Classes	Notas
0 - 2	10
2 - 6	8
6 - 12	5
>12	1

Tabela 9 : Notas atribuídas às classes do parâmetro litologia da zona vadosa.

Litologia da zona vadosa	
Classes	Notas
Cristalino	1
Aluvião	8
Cordão arenoso	10
Mangue	1

Tabela 10 : Notas atribuídas às classes do parâmetro condutividade hidráulica.

Condutividade hidráulica (cm/s)	
Classes	Notas
$< 10^{-6}$	1
$10^{-6} - 10^{-3}$	5
$10^{-3} - 10^{-1}$	8
$> 10^{-1}$	10

A equação para determinar o potencial de contaminação (PC) de uma determinada região é:

$$PC = D_p D_n + R_p R_n + A_p A_n + S_p S_n + T_p T_n + I_p I_n + C_p C_n$$

onde:

p = peso

n = nota

Uma vez que o potencial de contaminação foi calculado em um domínio, é possível compará-lo a outros domínios com relação à facilidade de contaminação da água subterrânea.

Tabela 11 : Índices do potencial de contaminação do modelo DRASTIC.

Classes de vulnerabilidade	Potencial de contaminação
Extrema	180 - 230
Alta	140 - 179
Moderada	100 - 139
Baixa	23 - 99

Unidades com índices DRASTIC entre 23 e 99 são considerados de baixa vulnerabilidade natural à contaminação. Neste caso, somente os mangues se enquadram nesta classe de vulnerabilidade. As unidades com índices de vulnerabilidade entre 100 e 139 são consideradas como de vulnerabilidade moderada à contaminação, onde se enquadram as rochas cristalinas da área em estudo. Os aluviões obtiveram índices entre os valores 140 e 179 sendo assim considerados como áreas de alta vulnerabilidade à contaminação. As faixas arenosas do cordão litorâneo apresentaram vulnerabilidade extrema (índices entre 180 a 230) devido, principalmente, à baixa profundidade do nível d'água, baixa declividade e elevada condutividade hidráulica (figura 32).

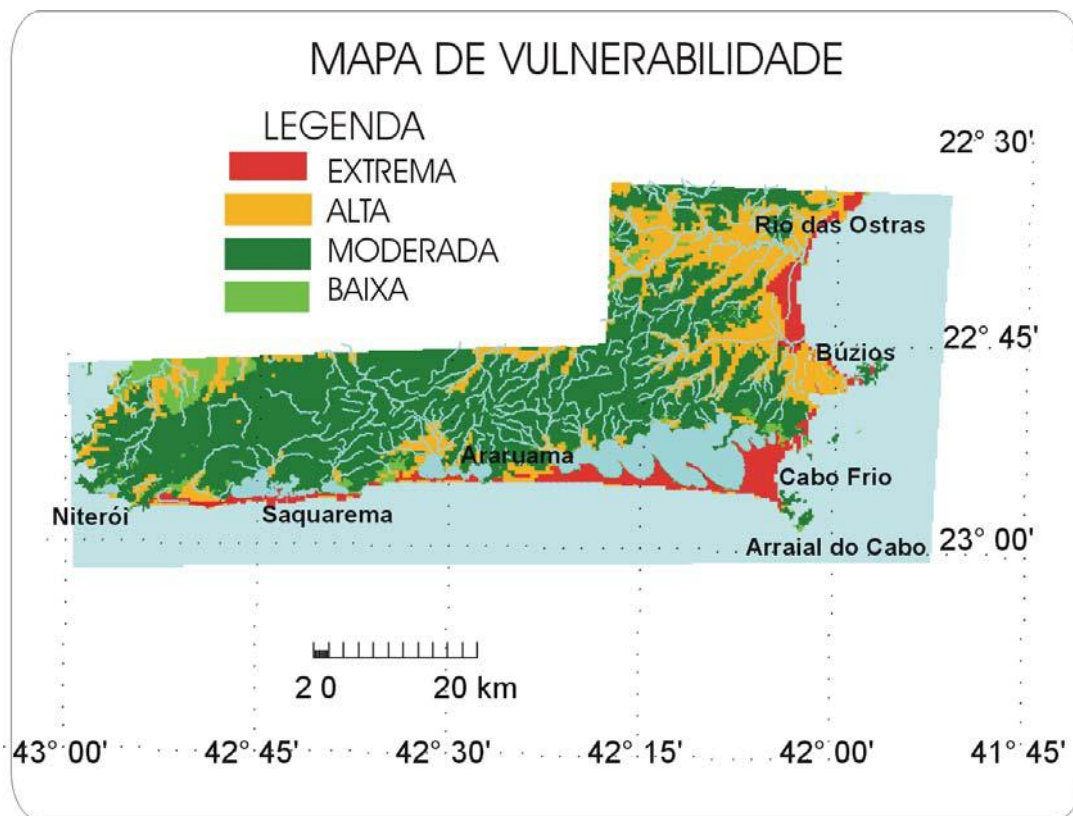


Figura 32: Mapa de vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos.

7. Conclusões

Todos os municípios de abrangência tiveram os seus pontos de água mais importantes cadastrados, tendo sido elaborados os dados em todos os municípios de abrangência do projeto. Os resultados indicam que a salinização dos aquíferos é um problema que tende a se agravar rapidamente com a exploração indiscriminada, pois as condições naturais já não são demasiadamente favoráveis, como no caso de Búzios ou Arraial do Cabo, por exemplo.

Observou-se que a região em estudo é composta por aquíferos do tipo granular, com variação lateral e perpendicular a linha da costa, decorrentes da formação da baixada litorânea durante os últimos movimentos de transgressão e regressão no Holoceno. O nível freático é geralmente elevado e a água dos areais é mais clara e geralmente menos salobra que a água das baixadas alagadiças.

De um modo geral, a salinidade da água aumenta com a proximidade do litoral e, ao mesmo tempo, com a profundidade, sendo também controlada pela maior ou menor densidade de ocupação. Há, contudo, outros fatores condicionantes à distribuição da salinidade das águas subterrâneas, como estratigráficos e estruturais que estão sendo presentemente avaliados. Estes dados foram obtidos a partir de medidas de condutividade elétrica no campo e análises de cloreto realizadas na CPRM-LAMIN e no Laboratório de Via Úmida do Setor de Geologia de Engenharia e Ambiental da UFRJ. Apesar da densidade relativamente baixa de pontos de controle da concentração de cloretos e de condutividade elétrica das águas subterrâneas, foi detectado o fenômeno da intrusão marinha em alguns pontos do litoral, como podemos observar como por exemplo na figura 30.

Com relação aos trabalhos nas áreas-piloto, finalizaram-se os trabalhos na Região Oceânica de Niterói, pôde-se verificar que na Região Oceânica de Niterói existem áreas problemáticas quanto à contaminação do lençol freático tanto por salinização quanto por efluentes domésticos, uma vez que a área estudada mostra um grande potencial urbanístico. Isto demanda uma sobrecarga do aquífero por ser este a única fonte de abastecimento da área.

De uma maneira geral pode-se dizer que na área de Piratininga (Niterói), Região Oceânica de Niterói, ocorrem os maiores níveis de cloreto, variando de 35 g/l a 22 g/l nos quiosques à beira da praia, passando por valores entre 0,17 g/l a 0,28 g/l na parte central do perfil e chegando a valores de 0,81 g/l na ciclovia que beira a laguna de Piratininga (Niterói). Em Itacoatiara o quadro é diferente. Neste local, os valores de concentração de cloreto são bastante inferiores. Em Cambinhas o quadro é parecido ao de Itacoatiara. Os quiosques na beira da praia apresentam água de boa qualidade com valores de concentração de cloreto de 0,11 g/l e 0,12 g/l podendo ocorrer variações pontuais.

Através dos mapas de distribuição de cloretos (Figuras 25, 26 e 27) e de condutividade elétrica (Figuras 28, 29 e 30) concluiu-se que, devido à diminuição da utilização do número de poços e a conseqüente redução do uso da água subterrânea em Piratininga (Niterói), os aquíferos estão menos salinizados. Isso ocorreu devido principalmente ao fornecimento de água para consumo da população pela Companhia Águas de Niterói e também pelo racionamento de energia no País neste mesmo período. Com isso, constata-se que as características hidrogeológicas do aquífero local - uma areia relativamente homogênea, de granulação média a grossa - permitem uma rápida recuperação da qualidade da água quando o bombeamento cessa ou diminui radicalmente. Por outro lado, também é rápida a salinização das águas em caso de exploração excessiva.

8. Bibliografia:

ALLER, L., BENNET, T., LEHER, J.H. e PETTY, R.J., 1987. DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Groundwater Pollution Potential using Hydrogeology setting. US-EPA report 600/2-85/018.

ALVES, M.G., 2000. Diagnóstico Ambiental da Região Oceânica de Niterói e Distrito de Inoã - Maricá (RJ) Uma visão por Geoprocessamento e Mapeamento Geológico-Geotécnico Tese de Doutorado - Departamento de Geologia - UFRJ - (Tese de Doutorado).

CRUZ, A.; SILVA JÚNIOR, G. C.; PIZANI, T. C.; LOWSBY, M. G., 2003. Monitoramento da Cunha Salina nos Aqüíferos Costeiros de Piratininga (Niterói), Niterói- RJ. I Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste, Petrópolis-RJ.

CUSTODIO, E.; BRUGGEMAN, G.A., 1987. Groundwater Problems in Coastal Areas - Imprimerie Bietlot Frères. Flerus, Belgique - ISBN 92-3-102415-9 - UNESCO.

DRM/RJ, 1981. Projeto Carta Geológica - Bloco Baía de Guanabara, Volume 1, Niterói, Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro. (Relatório Final).

KJERFVE, B.; SCHETTINI, C. A F.; KNOPPERS, .B.; LESSA, G.; FERREIRA, H.O., 1996. Hidrology and Salt Balance in a Large Hipersaline Lagoon: lagoa de Araruama, Brazil. Estuarine, Coastal and Shelf Science, v.42, p.701-725.

LOWSBY, M.G., 2000. Estudo da intrusão salina no aqüífero costeiro de Piratininga (Niterói), Região Oceânica do município de Niterói - RJ. Dissertação de Mestrado, IGEO-UFRJ.

LOWSBY, M.G; ALVES M.G., 2000. Characterization of Coastal Aquifers of the Oceanic Area of Niterói- RJ, Brazil. 32º Congresso Internacional de Geologia, Rio de Janeiro.

PINHEIRO DA SILVA, M. M., 2000. Caracterização hidrogeológica preliminar da área urbana dos municípios de Iguaba Grande e São Pedro da Aldeia.

PIZANI T.C., 2003. Análise da vulnerabilidade à contaminação de aquíferos e modelagem geoestatística de dados hidrogeológicos da bacia sedimentar de Resende-RJ. Dissertação de mestrado, IGEO-UFRJ.

SILVA JÚNIOR, G. C.; PIZANI T.C., 2002. Hydrochemistry as a Tool to Assist Groundwater Sustainable Development in Rio das Ostras Resort, Brazil, Symposium on Intensive use of Groundwater (SINEX), Valência, Espanha.

SILVA JÚNIOR, G. C.; PIZANI T. C., 2002. Vulnerability Assessment in Coastal Aquifers Between Niterói And Rio das Ostras, Rio de Janeiro State, Brazil, XXXII IAH & VI ALHSUD Congress. Mar del Plata, Argentina.

TORRES, M. T., 2001. Levantamento de Parâmetros Hidrogeológicos para estudo e modelagem numérica da intrusão marinha em aquíferos costeiros da região litorânea de Itaipuaçu, município de Maricá-RJ.

TUBBS, D., 1994. Caracterização Hidroquímica e Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas da Região Litorânea do Município de Niterói - RJ - Dissertação de Mestrado.